

3. Братчиков С. Г., Берман Ю. А., Белоцерковский Я. Л. и др. Теплотехника окискования железорудного сырья. М.: Metallurgy, 1970. С. 36–38.

УДК 669.053

В. Н. Буинцев, И. А. Рыбенко

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»,

г. Новокузнецк, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ТРЕНАЖЕР ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АГЛОМЕРАТА

Аннотация

Рассмотрены существующие проблемы производства агломерата с заданными физико-химическими свойствами в условиях изменяющегося состава компонентов шихтовых материалов и их параметров. Предложено решение этой проблемы с помощью математического моделирования процесса и создания тренажерно-обучающей системы.

Разработана математическая модель шихтовки, которая может быть использована как советчик агломератчика при принятии решения на управление, так и как учебно-тренирующее устройство. Вторая часть математической модели используется как модель-имитатор при поиске максимальных методов загрузки агломашины и оптимальной шихтовки заданной марки агломерата. Особое внимание при тренировках обучаемых уделяется приобретению навыков получения агломерата заданного качества при изменении состава и качества исходных компонентов шихты.

Тренажер «Агломератчик» успешно использован для обучения операторов агломерационных машин и студентов металлургических специальностей.

Ключевые слова: агломерат, математическое моделирование, тренажер, обучение, оптимизация.

Abstract

Existing problems of production of agglomerate with the set physical and chemical properties in the conditions of changing structure of components the shikhtovykh of materials and their parameters are considered. The solution of this problem by means of mathematical modeling of process and creation of training training system is proposed.

The mathematical model of a shikhtovka which can be used as the adviser of an agglomerant at decision-making on management and as the educational training device is developed. The second part of mathematical model is used as model simulator by search of the maximum methods of loading агломашины and an optimum shikhtovka of the set brand of agglomerate. The special attention when trainings trainees is paid to acquisition of skills of receiving agglomerate of the set quality at change of structure and quality of initial components of furnace charge.

The Agglomerant exercise machine is successfully used for training of operators of agglomerative cars and students of metallurgical.

Агломерация является заключительной операцией в комплексе мероприятий по подготовке железных руд к доменной плавке. Главная цель этой операции состоит в том, чтобы превратить мелкий рудный концентрат в более крупные и прочные куски – агломерат, использование которого в доменной плавке обеспечивает формирование слоя шихты хорошей газопроницаемости и большую площадь реакционной поверхности, что является непременным условием высокопроизводительной работы доменной печи.

Основным заданием доменщиков для технологического персонала агломерационного производства является выпуск агломерата с заданным химическим составом и показателями качества в течение длительного интервала времени, например, месяц, два и более. Выполнение этих условий связано с большими трудностями из-за постоянно меняющегося химического состава шихтовых материалов и ограничением их запасов на складах. Кроме того, необходимо поддерживать заданный объем производства при минимальной себестоимости готового агломерата.

Для целей оптимального расчета расходов шихтовых материалов при заданных параметрах готового агломерата разработана математическая модель, которая может быть использована в режиме советчика, а также в качестве тренажера для обучения студентов или технического персонала аглофабрики.

Модель расчета агломерационной шихты включает балансовые модели по входным потокам, веществам [1; 2] и по основности, а также регрессионную модель по прочности.

Управляемыми параметрами процесса являются массы входных потоков. Входными потоками при производстве агломерата являются железорудный концентрат и руда, марганцевая руда, окалина, шлам, известняк, топливо и др. Необходимо определить такое соотношение масс входных потоков, при котором будет получен агломерат заданного химического состава и качества. Расчет ведем на 1 т готового агломерата.

Уравнение материального баланса имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n \Delta_1 - \sum_{i=1}^n \Delta_2 = 1000, \quad (1)$$

где M_i – масса i -го компонента шихты, кг;

Δ_1 – потеря массы шихты в результате выгорания горючего углерода, серы, удаления гидратной влаги, диоксида углерода, карбонатов и летучих веществ, кг/т;

Δ_2 – изменение массы шихты в результате протекания окислительно-восстановительных процессов, кг/т;

n – количество входных потоков.

Изменение массы шихты рассчитывается следующим образом:

$$\Delta_1 = \sum_{i=1}^n \frac{K_s \cdot S_i + ППП_i}{100} \cdot M_i, \quad (2)$$

$$\Delta_2 = k \cdot (10(FeO)_{a2l} - \sum_{i=1}^n \frac{FeO_i}{100} \cdot M_i), \quad (3)$$

где K_s – коэффициент удаления серы из i -го компонента шихты;

S_i – содержание серы в i -м компоненте шихты, %;

$ППП_i$ – потери при прокаливании i -го компонента шихты, кг;

k – коэффициент, учитывающий изменение массы шихты в результате протекания окислительно-восстановительных реакций;

FeO_i – содержание оксида железа в i -м компоненте шихты, %;

$FeO_{a2л}$ – содержание оксида железа в готовом агломерате, %.

Основность агломерата рассчитывается по формуле:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n CaO_i}{\sum_{i=1}^n SiO_{2i}}. \quad (4)$$

Концентрация вещества R в готовом агломерате определяется следующим образом:

$$R_{a2л} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot M_i}{1000},$$

где R_i – содержание вещества R в i -м компоненте шихты, %;

$R_{a2л}$ – содержание вещества R в готовом агломерате, %.

Прочность агломерата рассчитывается по уравнению регрессии, полученному на основании экспериментальных данных:

$$Б.П. = 625,09 - 6,31 * C_{III} - 432,74 * B - 0,056 Fe_{a2л} + 4,96 * C_{III} * B, \quad (5)$$

где Б.П. – прочность агломерата (барабанная проба), %;

C_{III} – доля углерода шихте, %;

B – основность;

$Fe_{a2л}$ – содержание железа в агломерате, %.

Критерием оптимизации является себестоимость агломерата, которая рассчитывается по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i M_i + O\Phi + P\Phi + A + TP + OT + \mathcal{E}, \quad (6)$$

где $O\Phi$ – затраты на содержание основных фондов;

$P\Phi$ – ремонтный фонд, руб/т;

A – амортизация; руб/т;

TP – транспортные расходы, руб/т;

OT – фонд оплаты труда, руб/т;

\mathcal{E} – затраты на электроэнергию, руб/т;

C_i – цена i -го шихтового материала, руб/т.

Разработанная модель реализована в тренажере «Агломератчик» в виде нескольких рабочих окон, в рамках которых выполняются следующие учебно-тренировочные задачи. В первом окне (см. рис. 1) выполняется расчет шихтовки для заданных параметров агломерата. Эта же часть программы может быть использована в качестве советчика начальнику смены, осуществляющему расчет шихтовки на смену.

Химический состав концентратов шихты, %

Компонент	Fe	Mn	P	S	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	ППП	W
Концентрат	61,14	0,31	0,024	0,187	25,81	6,77	0,98	4,26	1,07	1,69	9,00
Руда	48,07	0,39	0,065	1,310	21,73	15,66	4,32	4,98	2,73	4,66	3,00
Окалина	71,30	0,35	0,039	0,020	66,08	1,82	0,38	0,62	1,07	0,95	7,00
Шлан	40,00	0,30	0,035	0,423	17,50	11,70	3,25	12,20	2,00	14,50	10,00
Марг. руда	14,60	25,72	0,030	0,470	2,81	27,81	4,80	1,93	0,57	4,91	7,50
Известь	0,95	0,01	0,011	0,051	0	1,13	0,28	45,84	7,17	43,55	3,00
Топливо	0,76	0	0,080	0,500	0	7,02	3,51	0,54	0,24	86,20	6,50

Удельный расход топлива, окислы и шлан, кг/т агломерата
Топливо: 56 Окислы: 35 Шлан: 23

Задание на качество агломерат
Fe, %: 57 Mn, %: 0,40 FeO, %: 12,75 Основность: 1,25

Удельные расходы компонентов на сухую массу, кг/т агломерата
Концентрат: 853,08 Руда: 25,48 Марганцевой руды: 4,1 Известняка: 105,03 Прочность агломерата, %: 71,49

Компоненты шихты	Расход вл. ших.		W, %	Расход сух. ших.		Fe		Mn		P		S		FeO		SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO		MgO		
	кг/т	%		%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
Смесь концентратов	929,86	78,07	9,00	853,08	61,14	521,6	0,31	2,6	0,024	0,2	0,187	1,6	25,81	220,16	6,77	57,75	0,98	8,36	4,26	36,34	1,07	9,13		
Смесь руд	26,24	2,2	3,00	25,48	48,07	12,2	0,39	0,1	0,065	0,02	1,310	0,33	21,73	5,54	15,66	3,99	4,32	1,1	4,98	1,27	2,73	0,7		
Окалина	37,45	3,14	7,00	35	71,30	25	0,35	0,1	0,039	0,01	0,020	0,01	66,08	23,13	1,82	0,64	0,38	0,13	0,62	0,22	1,07	0,37		
Шлан	25,3	2,12	10,00	23	40,00	9,2	0,30	0,1	0,035	0,01	0,423	0,1	17,50	4,03	11,70	2,69	3,25	0,75	12,20	2,81	2,00	0,46		
Марганцевая руда	4,41	0,37	7,50	4,1	14,60	0,6	25,72	1,1	0,030	0	0,470	0,02	2,81	0,12	27,81	1,14	4,80	0,2	1,93	0,08	0,57	0,02		
Известь	108,18	9,08	3,00	105,03	0,95	1	0,01	0	0,011	0,01	0,051	0,05	0	0	1,13	1,19	0,28	0,29	45,84	48,15	7,17	7,53		
Топливо	59,64	5,01	6,50	56	0,76	0,4	0	0	0,080	0,04	0,500	0,28	0	0	7,02	3,93	3,51	1,97	0,54	0,3	0,24	0,13		
Итого задано	1191,08	99,99		1101,69	570	4	0,03	0,02	2,39	253	71,33	12,8	89,17	18,34										
Состав агломерата					57	0,4	0,03	0,02	12,75	7,13	1,28	8,92	1,83											

Рис. 1. Диалоговое окно «Шихтовка агломерата заданного качества»

Во втором окне рассчитываются варианты загрузки агломерационной ленты и гранулометрический состав шихты для достижения заданной производительности агломашины. Третье окно (рис. 2) предназначено для обучения студентов или технологического персонала осуществлять расчет оптимальных расходов шихтовых материалов в рамках ограниченного набора входных потоков с точки зрения минимизации себестоимости готового агломерата заданного качества и количества.

Расчет качества агломерата

Концентрат

Смешать

Нажмите кнопку "Смешать", чтобы перейти к окну смешивания концентратов

Fe	61,14
Mn	0,31
P	0,024
S	0,187
FeO	25,81
SiO ₂	6,77
Al ₂ O ₃	0,98
CaO	4,26
MgO	1,07
ППП	1,69
W	9,00
Цена	2406

Руда

Смешать

Нажмите кнопку "Смешать", чтобы перейти к окну смешивания руд

Fe	48,07
Mn	0,39
P	0,065
S	1,310
FeO	21,73
SiO ₂	15,66
Al ₂ O ₃	4,32
CaO	4,98
MgO	2,73
ППП	4,66
W	3,00
Цена	1624

Окалина

Смешать

Нажмите кнопку "Смешать", чтобы перейти к окну смешивания руд

Fe	71,30
Mn	0,35
P	0,039
S	0,020
FeO	66,08
SiO ₂	1,82
Al ₂ O ₃	0,38
CaO	0,62
MgO	1,07
ППП	0,95
W	7,00
Цена	1043

Шлан

Смешать

Нажмите кнопку "Смешать", чтобы перейти к окну смешивания руд

Fe	40,00
Mn	0,30
P	0,035
S	0,423
FeO	17,50
SiO ₂	11,70
Al ₂ O ₃	3,25
CaO	12,20
MgO	2,00
ППП	14,50
W	10,00
Цена	567

Количество концентрата, кг: 815 Количество руды, кг: 52 Колево окислы, кг: 35 Колево шлан, кг: 23

Марганцевая руда

Fe	14,60
Mn	25,72
P	0,030
S	0,470
FeO	2,81
SiO ₂	27,81
Al ₂ O ₃	4,80
CaO	1,93
MgO	0,57
ППП	4,91
W	7,50
Цена	2649

Известняк

Fe	0,95
Mn	0
P	0,011
S	0,051
FeO	0
SiO ₂	1,13
Al ₂ O ₃	0,28
CaO	45,84
MgO	7,17
ППП	43,55
W	3,00
Цена	1079

Топливо

Fe	0,76
Mn	0
P	0,080
S	0,500
FeO	0
SiO ₂	7,02
Al ₂ O ₃	3,51
CaO	0,54
MgO	0,24
ППП	86,50
W	6,50
Цена	1423

Колево руды, кг: 2,97 Колево известняка, кг: 127,44 Колево топлива, кг: 56

Качество агломерата
Масса шихтовых материалов, кг -
Масса полученного агломерата, кг -
Содержание железа, % -
Основность -
Содержание марганца, % -
Содержание серы, % -
Прочность, % -
Стоимость шихтовых материалов, руб -
Себестоимость, руб/т -

Расчет В главное меню Справка

Рис. 2. Диалоговое окно «Поиск оптимальных режимов, обеспечивающих заданное количество и качество агломерата»

Тренажер используется в учебном процессе при выполнении лабораторных работ студентами металлургических специальностей в рамках дисциплины «Моделирование систем».

Список использованных источников

1. Рыбенко И. А., Мочалов С. П., Мочалов П. С. Методика и система расчета и оптимизации статических стационарных режимов технологических процессов // *Металлургия: технологии, управление, инновации, качество: тр. XVII Всерос. науч.-практ. конф.; под ред. Е.В. Протопопова*: Сиб. гос. индустр. ун-т. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2013. – С. 29–32.
2. Рыбенко И. А., Мочалов С. П. Технология моделирования и оптимизации стационарных режимов производственных процессов // *Векторы развития современной науки: Мат. Международной науч.-практ. конф. Часть II.* – Уфа: РИО ИЦИПТ, 2014. – С. 145–150.

УДК 669.042

А. М. Вохмяков*, М. Д. Казяев*, Д. М. Казяев, М. В. Губинский*****

* ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента Б.Н. Ельцина»,

институт материаловедения и металлургии,

кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии»,

г. Екатеринбург, Россия,

** ООО «НПК «УралТермоКомплекс», г. Екатеринбург, Россия,

*** Национальная металлургическая академия Украины,

кафедра промышленной теплоэнергетики, г. Днепропетровск, Украина

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Аннотация

Разработка и появление новых типов оборудования и материалов расширяет возможности в проектировании агрегатов. Описание одного из типов новых печей приведено в данной статье.

Ключевые слова: печь, горелка, футеровка.

Abstract

Development and the emergence of new types of equipment and materials expands in plant design. Description of a new type of furnace is shown in this article.

Keywords: furnace, burner, liners.

Постоянное развитие науки и техники приводит к появлению широкого спектра оборудования, для решения различных задач, и к появлению материалов, обладающих уникальными свойствами. Такое положение дел позволяет заниматься постоянным обновлением-улучшением конструкций различных промышленных агрегатов и установок.

Применительно к печному хозяйству металлургических и машиностроительных предприятий в последние несколько лет появилось огромное количество концептуально нового оборудования и материалов. Прежде всего существенное влияние на конструкции термиче-